

## BARTHA LAJOS\*

# *Magyar asztrofizikusok eredményei egy alapvető csillagászati probléma tisztázásában* *Az első csillag-hőmérséklet meghatározások*

A 19. sz. második felét és a 20. sz. első éveit túlzás nélkül nevezhetjük a magyarországi tudományos élet „aranykorának”. A magyar kutatók, az oktató és kutató intézetek és tudományos társaságok ekkor váltak a másutt elért eredmények átvevőiből (néha továbbfejlesztőiből) új ismeretek kidolgozóivá, megalkotóivá.

Különösen jól mutatkozik ez a fejlődés a csillagászat terén. Bár a kultuszkormányzat éppen e tudomány támogatására fordította a lekisebb gondot (és költséget!), néhány tehetős – és tehetséges – magánember, ill. testület jóvoltából az 1870-es évektől a magyarországi csillagászok tevékenyen bekapcsolódhattak a nemzetközi tudományos élet vérkeringésébe. Különösen jelentős volt a magyar csillagászok részvétele az asztronómia fiatal kutatási ágának, az asztrofizikának terén.<sup>1</sup> Az asztrofizika célkitűzése az égitestek fizikai sajátságainak – pl. anyagi állapotának, összetételének, hőmérsékletének stb. – megállapítása, és az észlelések adatai alapján a jelenségek és folyamatok elméleti magyarázata.

Az elméleti asztrofizika egyik „kényes” kérdése a csillagok hőmérsékletének meghatározása volt. A spektroszkópikus vizsgálatok bebizonyították, hogy a Nap és általában a csillagok energiát kibocsátó, vagyis sugárzó gáztömegek. A sugárzó energia mértékének, egyszerűbben kifejezve a csillagok felszíni hőmérsékletének exakt meghatározása azonban a 19/20. sz. fordulójáig megoldhatatlan feladatnak tűnt. Ennek a problémának megoldásában játszott fontos szerepet a 20. sz. elejének néhány (akkor) fiatal magyar csillagásza.

### ELŐZMÉNYEK

A 19. sz. fizikai kutatásainak egyik törekvése az volt, hogy kísérleti, ill. elméleti úton összefüggést találjanak valamely sugárzó test összteljesítménye és hőmérséklete között. E téren fontos kiinduló pontot jelentett **Gustav Kirchhoff** törvénye, amely szerint az energiakibocsátás és -elnyelődés aránya független a test anyagi minőségétől; továbbá az ún. abszolút feketetest, és a „fekete sugárzás” fogalmának bevezetése. A továbbiakban **Josef Stefan** megállapította, **Ludwig Boltzmann** utóbb elméletileg is levezette, hogy a fekete test által sugárzott összteljesítmény ( $E$ ) a hőmérséklet negyedik hatványával és egy állandó ( $\sigma$ ) szorzatával arányos:  $E = \sigma T^4$ .<sup>2</sup>

A Stefan–Boltzmann törvényt alkalmazva pl. meghatározható a Nap sugárzó felszínének

\* 1023 Budapest, Frankel Leó út 36. I. em. 5.



hőmérséklete, ha lemérhetjük a Földre érkező össz sugárzást. Bár **C. S. M. Pouillet** már 1838-ban szerkesztett a Nap sugárzó energiájának mérésére szolgáló berendezést (aktinométert, ill. pirheliométert), a különböző zavaró tényezők – nem utolsósorban a légkör bizonytalan mértékű sugárzás elnyelése – kétségesé tették a mérések eredményeit.<sup>3</sup> A csillagok sugárzás mérésére pedig ezek a műszerek alkalmatlanok a beérkező energiamennyiség csekély volta miatt.

Ígéretesebbnek tűnt egy másik út: a csillag-színképek intenzitás (fényesség) eloszlása és a hőmérsékletük közti kapcsolat kutatása. Már a spektroszkópia első művelőinek feltűnt, hogy a Nap színképében a sárga tartomány a legfényesebb, a spektrum kék és vörös végei halványabbak. A különböző hullámhosszú színképtartományok intenzitásának mérésére azonban csak a pontos fénymérési módszerek kidolgozását követően nyílt lehetőség. A spektrálfotometria terén úttörő munkát végzett **Hermann G. Vogel**, a bothkampai, majd a potsdami csillagvizsgálókban.<sup>3, 4</sup>

## KÖVESLIGETHY RADÓ SUGÁRZÁSI EGYENLETEI

A 19. sz. végén több fizikus is próbálkozott olyan általános sugárzási egyenlet elméleti felállításával, amely leírja a sugárzó test energiakibocsátásának (hőmérsékletének) és színképi sajátosságainak összefüggését. Ezen a téren a 19. sz. végéig **Kövesligethy Radó** (1862–1934) jutott a legmesszebbre. Kövesligethy a bécsi Tudományegyetemen, többek között **J. Stefannál** tanult; érdeklődése már korán a színképelemzés és a sugárzási törvények felé fordult. Doktori értekezését 1884-ben „Az elméleti asztrofizika elvei a matematikai színképelemzés alapján” címmel nyújtotta be (Prinzipien einer theoretischen Astrophysik auf Grund mathematischer Spektralanalyse). A következő másfél évtizedben ezt a tárgyat fejlesztette tovább.

Kövesligethy kiindulási alapja a Kirchhoff-törvény volt, továbbá az a feltevése, hogy a testek (csillagok) részecskéi rezgő rendszereknek tekinthetők, amelyek átadják energiájukat az elektromágneses sugárzást közvetítő éternek.<sup>5</sup> Bár mai szemmel alapfeltevései hibásak, a maguk idején elfogadhatónak tűntek.

Kövesligethy Radó vizsgálatait azonban nem szabad lekicsinyelnünk. Egyrészt felismerte azt, hogy az összenergiát a sugárzás hullámhossz szerinti erősségváltozását ábrázoló görbe alatti terület adja. Másrészt az általa levezetett sugárzási egyenlet magába foglalja az ún. eltolódási törvényt, amelyet a német **Wilhelm Wien** csak 1894-ben publikált. Kövesligethy már 1884-ben kiemelte az MTA előtt elhangzott előadásában: „Szavakban kifejezve: minél magasabb egy test hőmérséklete, annál inkább tolódik spektrumának fénymaximuma az ibolyavég felé.”<sup>6</sup>

Bár utóbb Kövesligethy megkísérelte elsőbbségének megvédését, a színkép maximális intenzitásának hőmérséklettől függő eltolódási törvényét ma a fizikában Wien-törvényként ismerik.<sup>2, 6</sup>

Ezeknek a helytálló felismeréseknek köszönhetően a Kövesligethy-féle sugárzási egyenletek a Nap és a csillagok hőmérsékletére nagyságrendileg helyes értékeket adnak. A Nap felszíni hőmérsékletére 5500 K°-ot kapott, a vörös színű (alacsony hőmérsékletű) csillagokra 3000° körüli értéket.<sup>7</sup> Kétségtelen, hogy Kövesligethy kapott először elméleti úton reális értékeket a csillagok hőmérsékletére. Összefoglaló műve, amely 1890-ben „Grundzüge einer theoretischen Spektralanalyse” (Egy elméleti színképelemzés alapvonalai) címen jelent meg (Halle a. S.) sok értékes gondolatot tartalmaz – állapítja meg német kritikusa, **F. T. Ginzl** –, a fizika fejlődése azonban nem ebben az irányban haladt!

## HARKÁNYI BÉLA – AZ ELSŐ CSILLAG-HŐMÉRSÉKLETI ADATOK

Kövesligethy érdemei közé tartozik, hogy felkeltette a figyelmet a sugárzási törvények fontossága iránt. Valószínűleg tőle kapott indítást az ilyen vizsgálatokra **báró Harkányi Béla**, tanítványa majd később tanártársa (1869–1932). Harkányi hosszabb külföldi tanulmányutat követően, 1900-ban kezdett foglalkozni a csillag-hőmérsékletek kérdésével.

Harkányinak ekkor már rendelkezésére állt az eltolódási képlet jól kezelhető formája ( $k = \lambda_m T$ , itt  $\lambda_m$  a színképfényesség maximumának hullámhossza,  $T$  = az abszolút hőmérséklet és  $k$  = állandó). Ugyanekkor ismertette **Max Planck** az általa levezetett sugárzási törvényt is.<sup>8</sup>



A csillagszínképek fényerősségének meghatározásában Harkányinak csak kevés adat állt rendelkezésére, amelyeket még H. C. Vogel mért a potsdami Asztrofizikai Observatóriumban. Ezek felhasználásával, valamint az akkor legújabb laboratóriumi adatok alapján dolgozta ki Harkányi a csillaghőmérséklet-meghatározás módszerét. Összehasonlítási alapként a Nap színképét használta. Módszerével a Sziriusz, a Vega, az Arcturus, az Aldebaran és a Betelgeuse felszíni hőfokát állapította meg, összevetve a Nap, a petróleum normálámpa és az ívfény hőmérsékletével. Eredményeit az akkor nemzetközi szakfolyóiratként számon tartott német *Astronomische Nachrichten* 1902. évi 2. sz.-ban (3770. sz. füzet) közölte.<sup>9</sup> Magyarul a következő évben jelent meg a cikke.<sup>10</sup>

Mai ismereteink szerint – főleg a Nap hőmérsékletének a valóságosnál alacsonyabbra vett értéke és az állandók bizonytalan ismerete miatt – Harkányi Béla adatai a sárga színű és vörös csillagokra helytállóak, a kék színű forró csillagokat viszont aláértékelték. **Ennek ellenére vitathatatlan, hogy Harkányi Béla volt az első csillagász, aki a modern fizika sugárzási törvényei alapján elméleti úton meghatározta a csillagok hőmérsékletét.**

Harkányi Béla vizsgálataival párhuzamosan már a potsdami csillagvizsgálóban is folytak a spektrálfotometriai mérések fotografikus úton, ezeket **J. Wilsing** és **J. Scheiner** 1909-ben publikálta. Valamivel korábbi a francia **F. C. Nordmann** színszűrők alkalmazásával végzett párizsi mérésorozata (1905).<sup>4</sup> **Adolf Hnatek** bécsi csillagász már finomította a fotografikus színkép-fénymérést, 1911-ben.

Ekkoriban azonban Harkányi már egy újabb, ugyancsak úttörő jelentőségű munkával állt elő. 1911-ben jelent meg tanulmánya, amelyben először mutatja meg, miként lehet a csillagok lemérhető adataiból: a fényesség, a távolság és a felszíni hőmérséklet felhasználásával az égitestek **méreteit meghatározni**.<sup>11</sup> Harkányi Béla volt az első, akinek sikerült megbízható adatokat kapni a csillagok valódi átmérőjéről. Vizsgálatai alapján elsőként mondta ki, hogy **a csillagok többségének átmérője nagyságrendileg a Napéval egyezik, de vannak a Napnál több tucatszor (sőt sokszázszor) nagyobb átmérőjű csillagok is**.<sup>12</sup> Sajnos az első világháború, és az azt követő évek eseményei és családi tragédiái visszavetették Harkányi Béla munkásságát, de a csillagok paramétereinek meghatározásában mindenképpen úttörőnek számít.<sup>13</sup>

## A TANÍTVÁNYOK: TERKÁN LAJOS ÉS KALMÁR LÁSZLÓ

Kövesligethy kezdeményezése és Harkányi sikere ösztönzően hatott a 20. sz. elején pályakezdő fiatal csillagász nemzedékre. Mivel a csillaghőmérsékletek kérdése mind mérés technikai, mind elméleti szempontból továbbra is az égítő problémák közé tartozott, érthető, hogy figyelmük is erre a problémára koncentrált.

Kövesligethy ösztönzése és Harkányi útmutatása indította ilyen tárgyú kutatásokra **Terkán Lajost** (1877–1940).<sup>14</sup> Terkánt egy gyakorlati kérdés megoldása érdekelte: hogyan lehetne a csillaghőmérséklet mérését halvány égitestekre is kiterjeszteni? A mérhető intenzitású csillag-színképek előállítására igen nagytávcsövekre volt szükség, és még ezekkel is csupán a fényesebb csillagok spektrumát lehetett jól megörökíteni.

Terkán Lajos ezért – Kövesligethy Radó egy korábbi elgondolásából kiindulva – a csillagok színének mérésével próbálkozott a hőmérséklet-meghatározás végrehajtására. Erre a célra az ún. Zöllner-féle kolorimétert használta. A koloriméterben a csillagok fényét a lámpával előállította mesterséges csillag fényével hasonlítják össze. A mesterséges csillag színét a fénysugár menetébe helyezett mészpát kristály és kvarclemmez forgatásával lehet változtatni, a vöröstől a kék színig.<sup>15</sup> Az egyes színárnyalatokhoz tartozó elforgatás szöge egy skálán mérhető.

Ezt a színskálát Terkán egy valódi színkép színeivel kalibrálta. Ilyen módon feltevése szerint megállapítható, hogy milyen színben a legerősebb a csillag sugárzása, és ebből kiszámítható a hőmérséklet.<sup>16</sup> Összehasonlításként Terkán azoknak a csillagoknak színét határozta meg – és számított hőmérsékletét –, amelyeket Harkányi már spektrálfotometriai úton megmért. Az 1904-ben közzétett dolgozatában jó egyezést kapott a Harkányi által számított hőmérsékletekkel. Voltaképpen az általa kezdeményezett módszer magában rejti a ma használatos többszín fénymérés csíráit.



Hamarosan azonban belátta, hogy a csillagok színének szemmel történő becslése igen bizonytalan értékeket ad. Később javasolta a színszűrővel végzett fényképezés használatát. Ezt azonban szerény műszerfelszerelése mellett nem tudta megvalósítani, így az eredmények már külföldön születtek meg. Terkán Lajos érdemei a színmérés és az ún. színindex alkalmazása terén így sem vitathatók.

Harkányi kutatásainak folytatói közt kiemelkedő jelentőségű **Kalmár László** (szül.: 1906) munkássága. Kalmár László a 20. sz. ígéretes tehetségű csillagásza volt, akit külső körülmények kényszerítettek pályájának elhagyására. Doktori értekezésében, 1927-ben, a csillagok méretéről, átmérőjéről, valamint a csillagszínkép-típusok összefüggéséről végzett vizsgálatainak eredményeit közölte. A világ nagy obszervatóriumainak észlelési adatait feldolgozva, pontos kapcsolatot vezetett le a színképtípus (ill. az ezzel azonos felszíni hőmérséklet) és a csillag-átmérő között. Ha ez a vizsgálat nem is volt úttörő, de a maga korában a legalaposabb feldolgozásnak számított. Így a nemzetközi szakirodalom átvette és sokáig idézte adatait.<sup>17, 18</sup>

Terkán és Kalmár a „klasszikus asztrofizika” utolsó képviselői voltak hazánkban. Munkásságukkal lezárult a csillagászat fejlődésének és a hazai csillagászatnak is egy korszaka. Tevékenységük azonban jelentősen hozzájárult a csillagászati ismeretek fejlődéséhez, és megérdemelt becsületet szereztek a magyarországi tudomány számára.

#### FORRÁSMUNKÁK:

1. Bartha L.: A magyarországi asztrofizikusok szerepe az asztrofizika megalapozásában. Technikatört. Szemle, XIII. köt. 1982.
2. Simonyi K.: A fizika kultúrtörténete. 3. kiad. 401. p. Bp. 1986.
3. Pannekoek, A.: A History of Astronomy, Dover Publ. Inc., 1961.
4. Hershaw, J. B.: The analysis of the starlight – the hundred and fifty years of astronomical spectroscopy. Cambridge Univ. Press, 1986.
5. Réthly A.: In memoriam Kövesligethy Radó – Annales Universitatis scientiarum Budapestini..., Sectio Geologica, Tom. VI. 1963. Ugyan erről Bartha Z.: Kövesligethy Radó – Évfordulóink, 1984. Bp. 1983.
6. Kövesligethy R.: A folytonos spektrumok elmélete – Értekezések a Matematikai Tudományok Köréből, 12. 2. 1885.
7. Kövesligethy R.: A spektrumanalízis két paraméter egyenlete – Matematikai és Természettudományi Értesítő, 16. 5. 1898.
8. Ginzel F. K.: „Bibliographisches” – Himmel und Erde, 2. 2. 1890. 540. p.
9. Harkányi, B.: Ueber die Temperaturbestimmung der Fixsterne auf Spectralphotometrischem Wege – Astronomische Nachrichten, Bd. 11, Heft 2. Nr. 3770. 1902.
10. Harkányi B.: Az égitestek hőmérsékletének meghatározásáról – Matematikai és Fizikai Lapok, 12. 6. 1903.
11. Terkán L.: Az asztrofizikai megfigyelések módjai, VIII. rész. Az időjárás, 16. 4. 1912.
12. Harkányi, B.: Darstellung der photometrischen und photographischen Grösse als Funktion der Temperatur der Sterne – Astronomische Nachrichten, 186. 11. Nr. 4451. 1911.
13. Tass A.: Erinnerung an Baron Béla Harkányi. – Vierteljahrsschrift der Astronomischen Gesellschaft, 67. 4. 1932.
14. Hudoba Gy.: Terkán Lajos élete és munkássága (Bibliográfiával). Székesfehérvár, 1996.
15. Terkán L.: A colorimeter elmélete – Matematikai és Fizikai Lapok, 12. 5. 1903.
16. Terkán L.: Az állócsillagok hőmérsékletének meghatározása... – Die Temperaturbestimmung der Fixsterne... – Az Ó-Gyallai Astrophysikai Obsz. kisebb kiadványai, 6. sz. 1904.
17. Kalmár L.: Az állócsillagok nagysága. Budapest, 1927.